

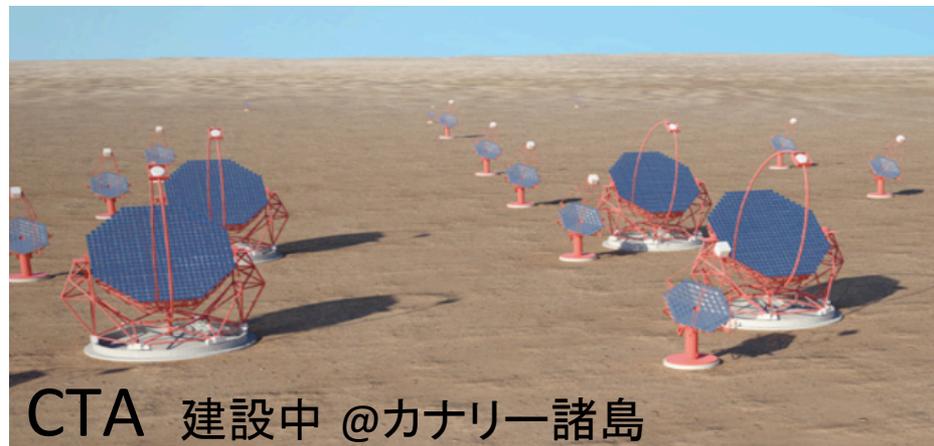
# MAGIC望遠鏡における 広がった天体の観測・解析手法開発

岩村由樹<sup>A</sup>, 池野祐平<sup>B</sup>, 井上進<sup>C</sup>, 折戸玲子<sup>D</sup>, 加藤翔<sup>A</sup>,  
櫛田淳子<sup>B</sup>, 窪秀利<sup>E</sup>, 今野裕介<sup>E</sup>, 齋藤隆之<sup>E</sup>, Marcel Strzys<sup>F</sup>,  
高橋光成<sup>A</sup>, 谷川俊介<sup>E</sup>, 辻本晋平<sup>B</sup>, 手嶋政廣<sup>A,F</sup>, 中嶋大輔<sup>A</sup>,  
永吉勤<sup>G</sup>, 西嶋恭司<sup>B</sup>, Daniela Hadasch<sup>A</sup>, 林田将明<sup>A</sup>, 深見哲志<sup>A</sup>,  
Daniel Mazin<sup>A,F</sup>, 増田周<sup>E</sup>, 吉田麻佑<sup>B</sup>, 他 MAGIC Collaboration

東大宇宙線研<sup>A</sup>, 東海大理<sup>B</sup>, 理研<sup>C</sup>, 徳島大理工<sup>D</sup>,  
京大理<sup>E</sup>, Max-Planck-Inst. fuer Phys.<sup>F</sup>, 埼玉大理<sup>G</sup>



MAGIC 口径17m × 2台 @カナリー諸島



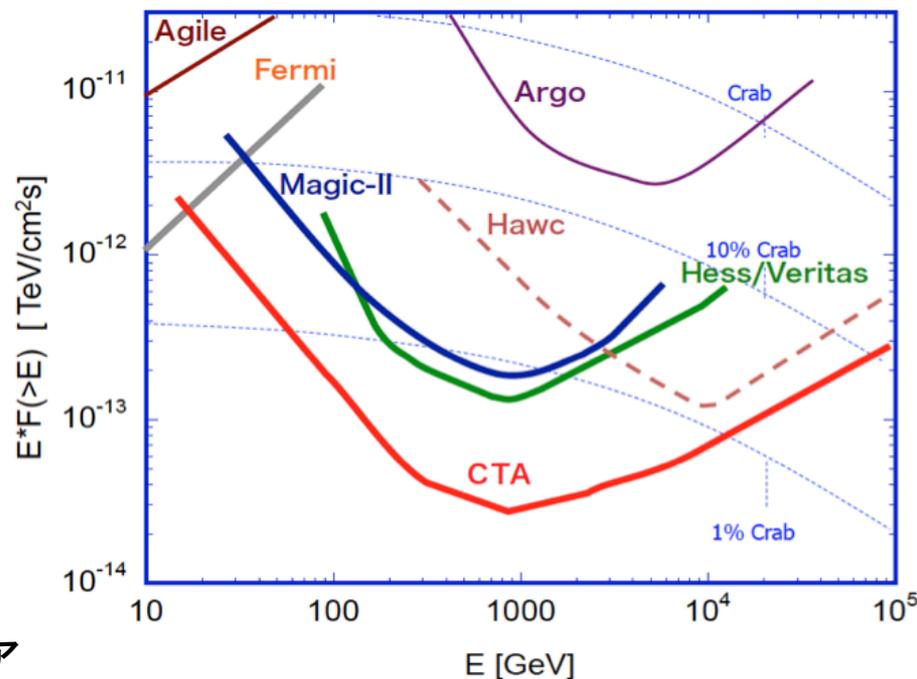
CTA 建設中 @カナリー諸島



VERITAS 口径12m × 4台 @アリゾナ

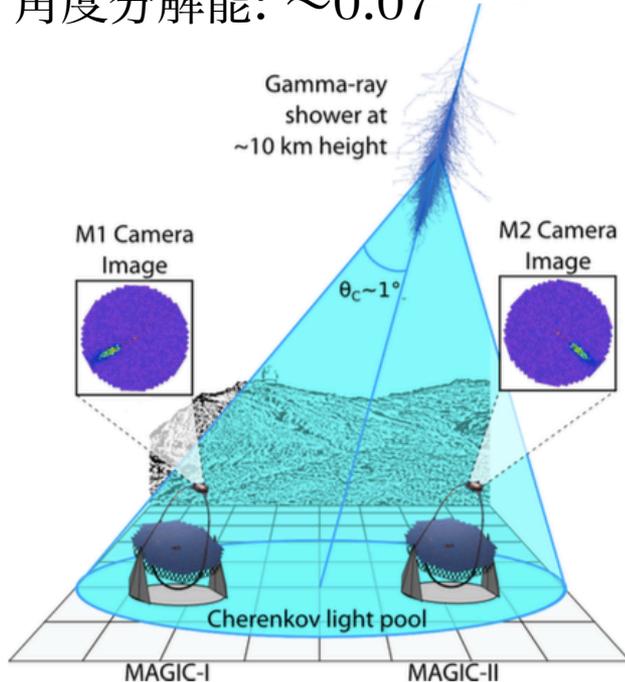


H.E.S.S. 口径12m × 4台 + 28m × 1台 @ナミビア



## MAGIC (Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov telescopes)

- 口径17m×2台の  
解像型大気チェレンコフ望遠鏡
- 場所: カナリー諸島ラパルマ島、スペイン
- 視野:  $\sim 3.5^\circ$
- エネルギー:  $\sim 50\text{GeV}$ -数十TeV
- 感度:  $(0.66 \pm 0.03)\%$  Crab Nebula Units  
( $>220\text{GeV}$ , 50h for point source)
- 角度分解能:  $\sim 0.07^\circ$

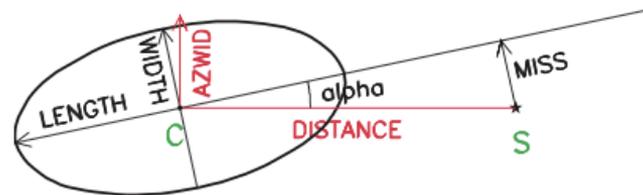


Credit: G. Giavitto

2台の望遠鏡で得られるシャワーイメージから

- 到来方向
- エネルギー
- “hadronness”

(バックグラウンドの陽子を選別するための値)  
を Random Forest 法を利用して見積もる



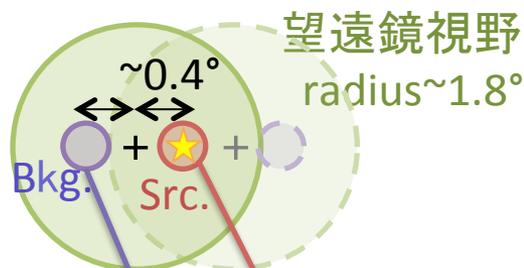
C image centroid

S potential source

A.M.Hillas (2013)

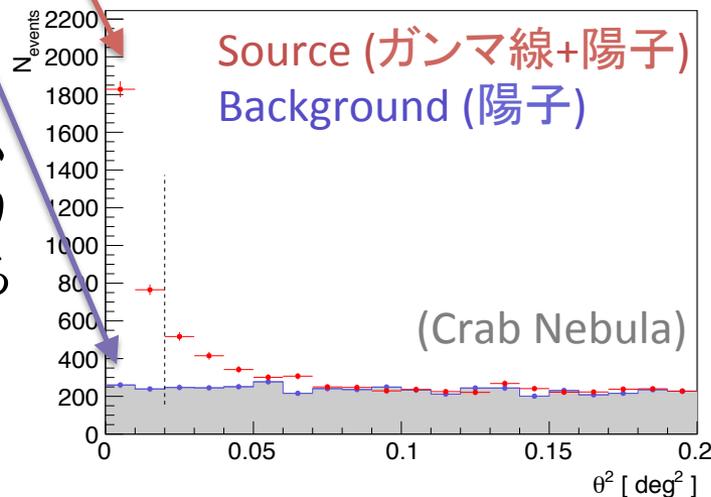
## Wobble観測

天体の位置と同等の感度をもつ位置  
(=カメラ上で対称な位置)  
からバックグラウンドを見積もる。

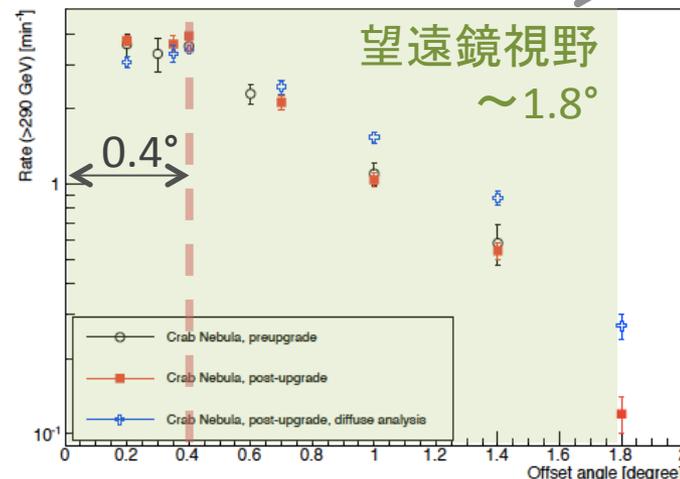


## $\theta^2$ -plot

天体/Bkg. 中心  
からの角距離  $\theta$   
の二乗に対する  
イベント到来  
頻度の分布



外側ほど感度が低い



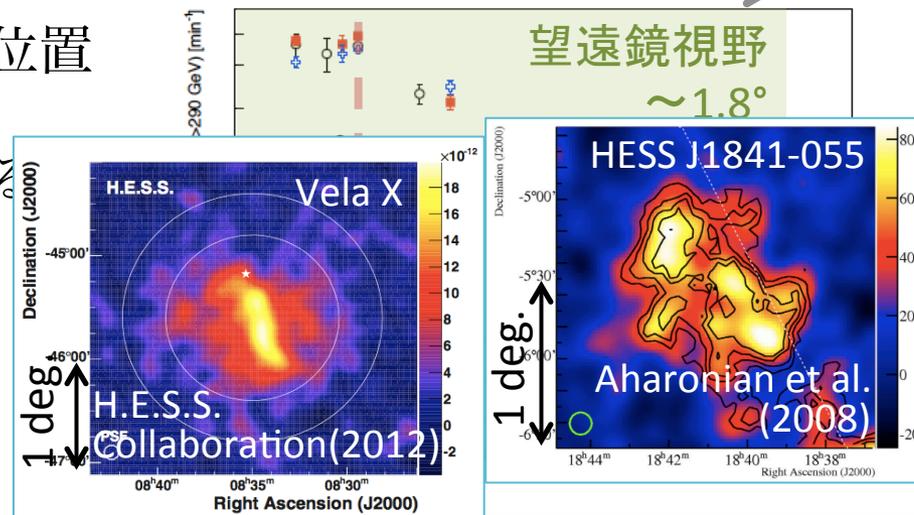
広がり  $\sim 1^\circ$  以上の天体では...  
(ex. SNRs, 銀河系中心)

- $\theta^2$ -plot では excess が大きく広がっている
- 半径  $\sim 0.4^\circ$  以上の天体では Bkg. 領域に天体が入り込む

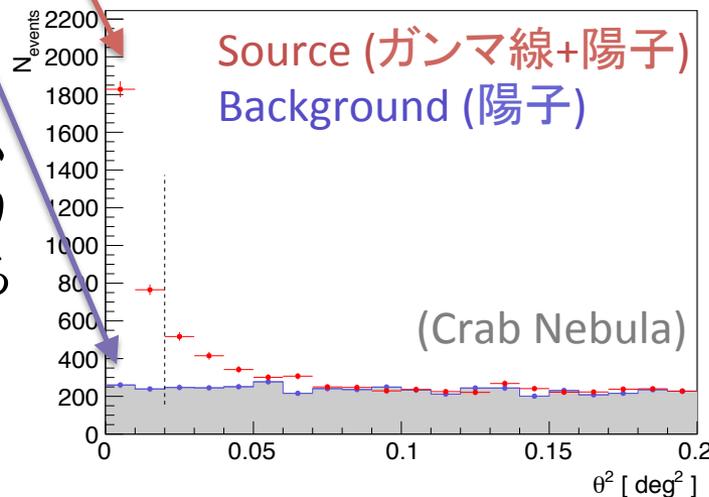
→ 既存の方法では  
検出が難しい

外側ほど感度が低い

- Wobble観測  
天体の位置と同等の感度をもつ位置  
(=カメラ上で対称な位置)  
からバックグラウンドを見積もる



- $\theta^2$ -plot  
天体/Bkg. 中心  
からの角距離  $\theta$   
の二乗に対する  
イベント到来  
頻度の分布

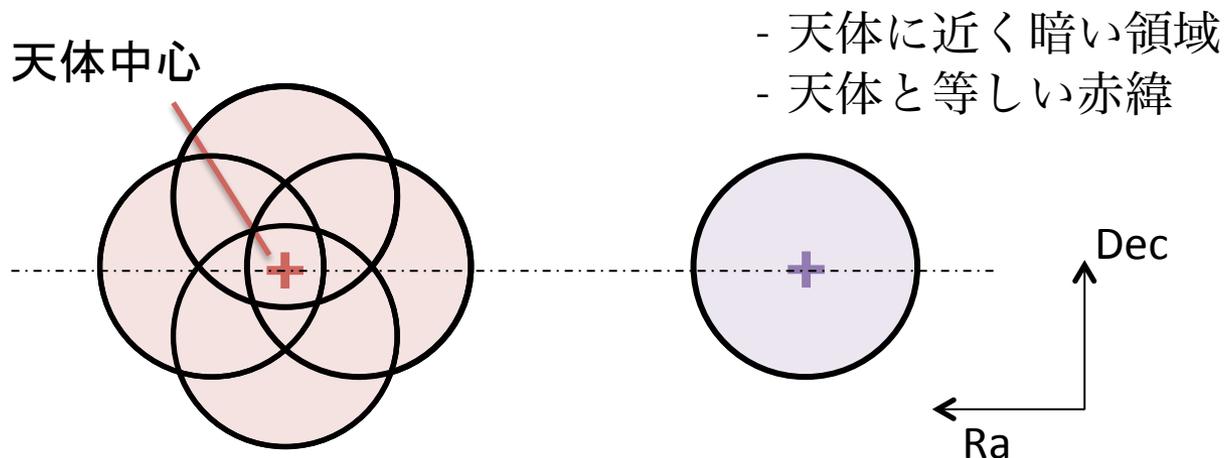


広がり ~1°以上の天体では...  
(ex. SNRs, 銀河系中心)

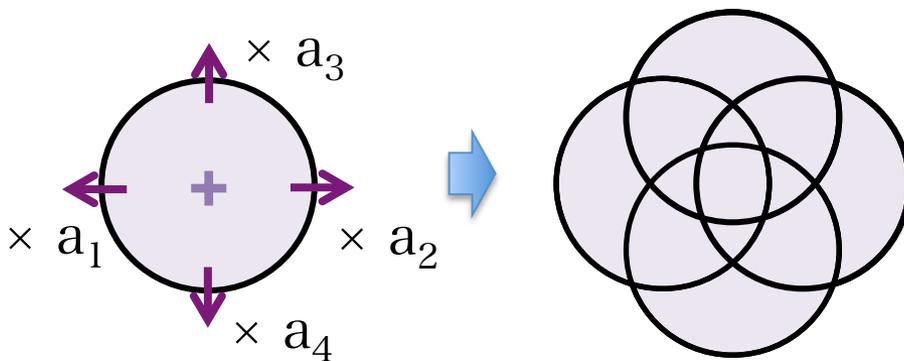
- $\theta^2$ -plot では excess が大きく広がっている
- 半径 ~0.4°以上の天体では Bkg. 領域に天体が入り込む

→ 既存の方法では  
検出が難しい

観測方法： Source scan (On) + background (Off)



解析方法： Off data は規格化と位置のシフトを行い、  
On に対応する background を作成



問題点：  
スケーリングの値は  
どう決めるのか？

理想：観測時間の差異を補正すればよい

$$a = t_{\text{on}} / t_{\text{off}}$$

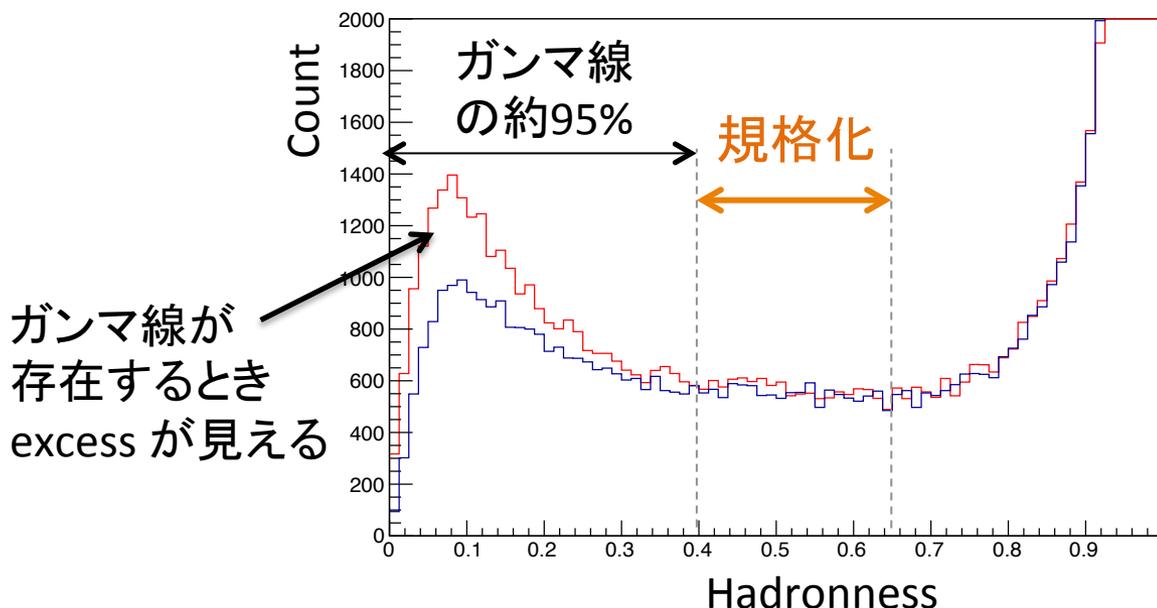
現実：観測条件への依存性が無視できない

問題点：  
スケーリングの値は  
どう決めるのか？



Hadronness 分布を利用。Hadron のイベント数を合わせる

sumon

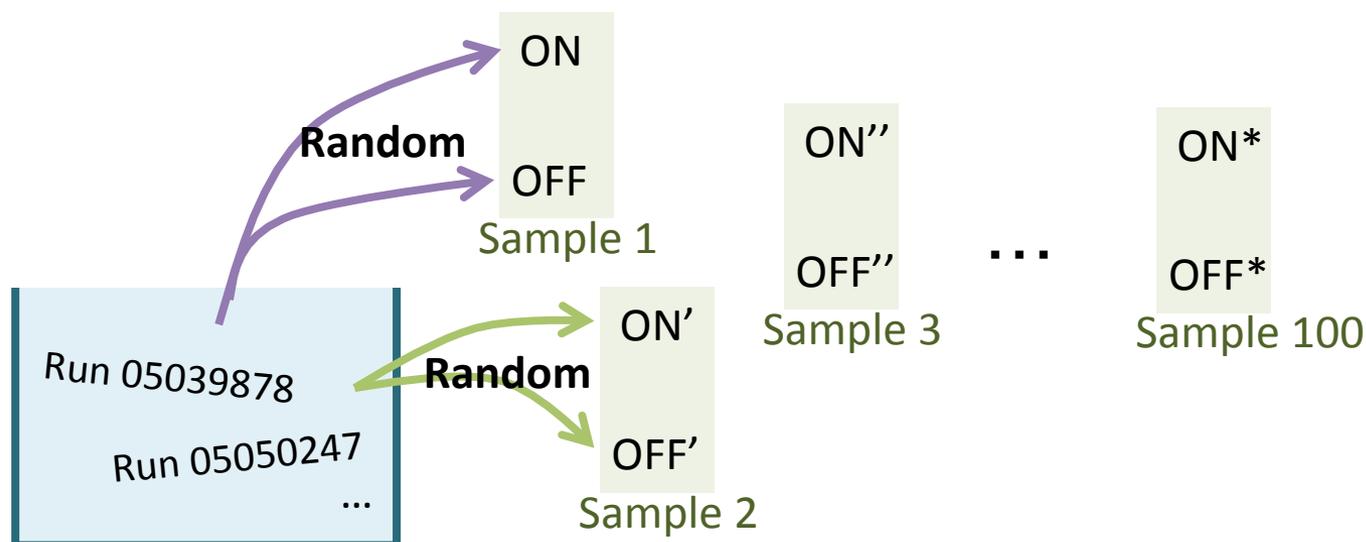


赤: Src. (Gamma+Hadron)  
青: Bkg. (Hadron)

Hadron は一定と仮定し、  
ガンマ線が少なく且つ  
安定な範囲で規格化

ガンマ線が検出されなかった天体に解析を適用  
ex. UrsaMajor II

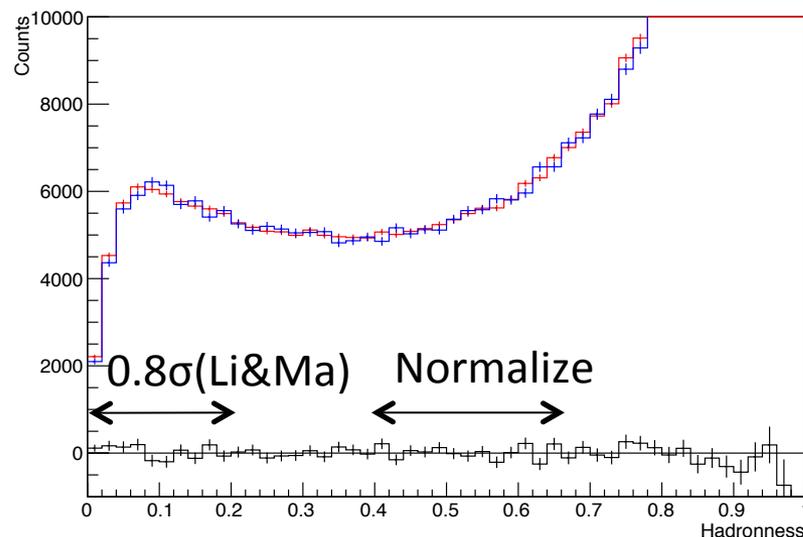
- ~~On/Off 観測によるデータ~~ (存在しない)
- Wobble データをランダムに仮想的 On/Off グループに分類  
→ On/Off データ解析 (×100回試行)



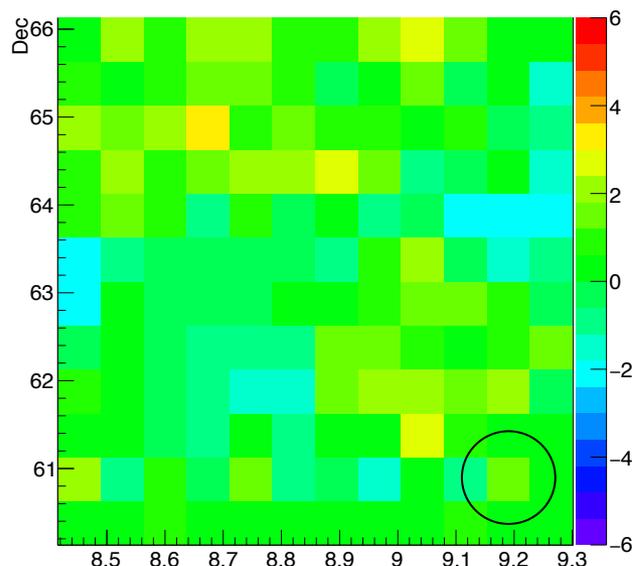
## Sample 1 結果 期待通り揺らぎのみ

Event cut settings:  
size > 300 ph.  
energy > 100 GeV  
dist < 350 mm

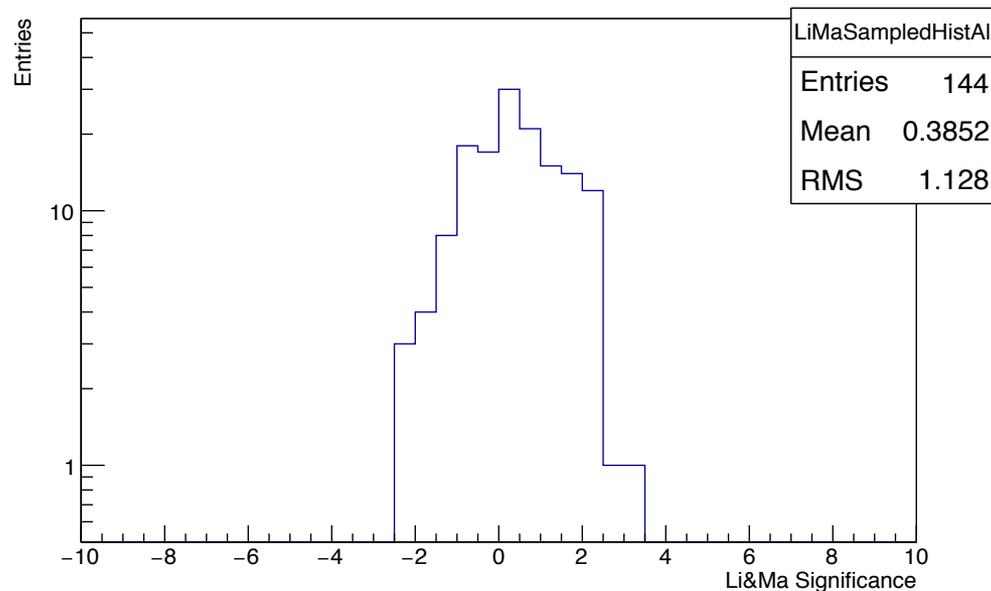
All wobble



Li&Ma Significance All



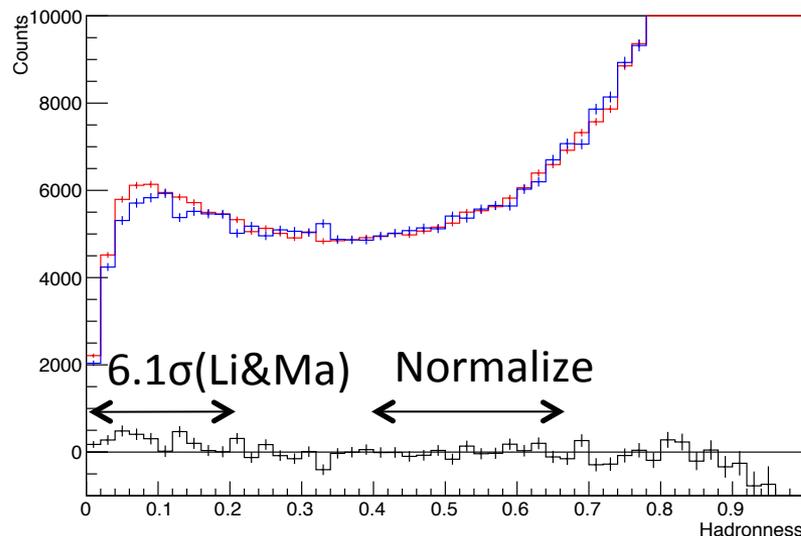
Li&Ma significance map  
(circle: integration region)



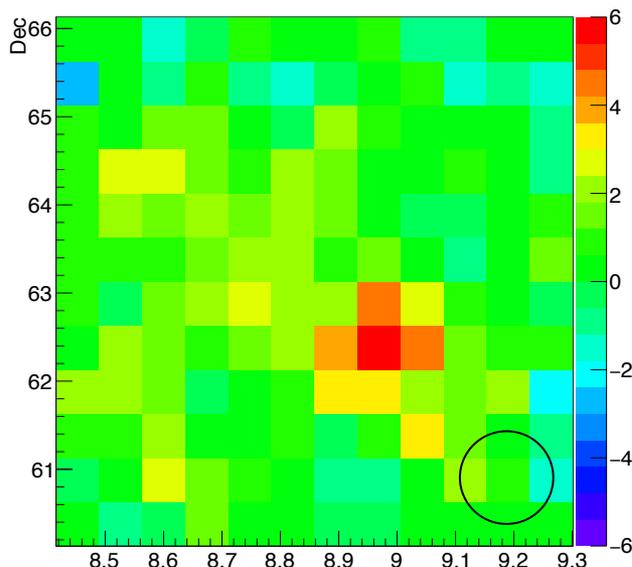
## Sample 5 結果 存在しないはずのexcessを確認

Event cut settings:  
size > 300 ph.  
energy > 100 GeV  
dist < 350 mm

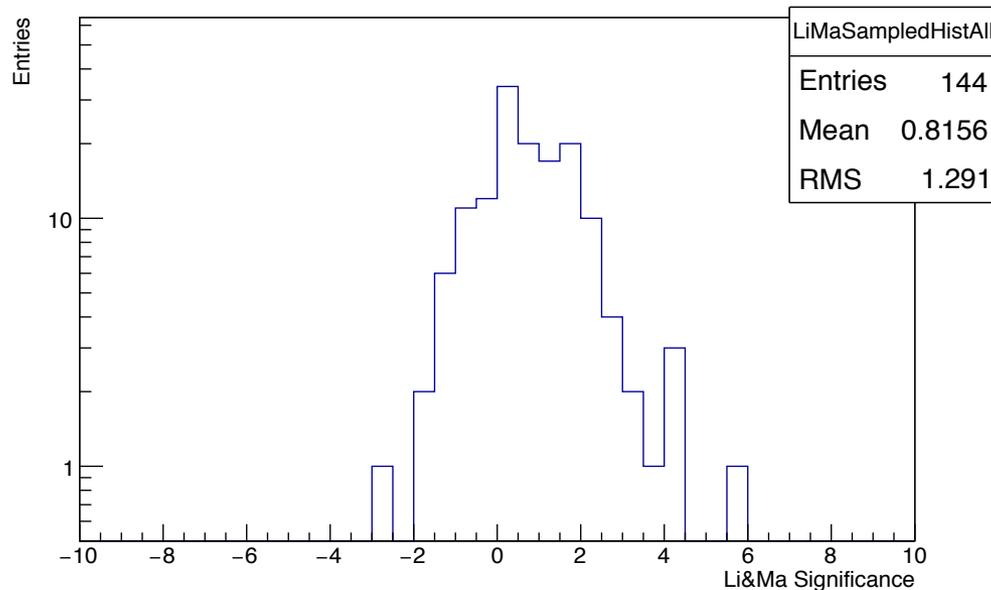
All wobble



Li&Ma Significance All



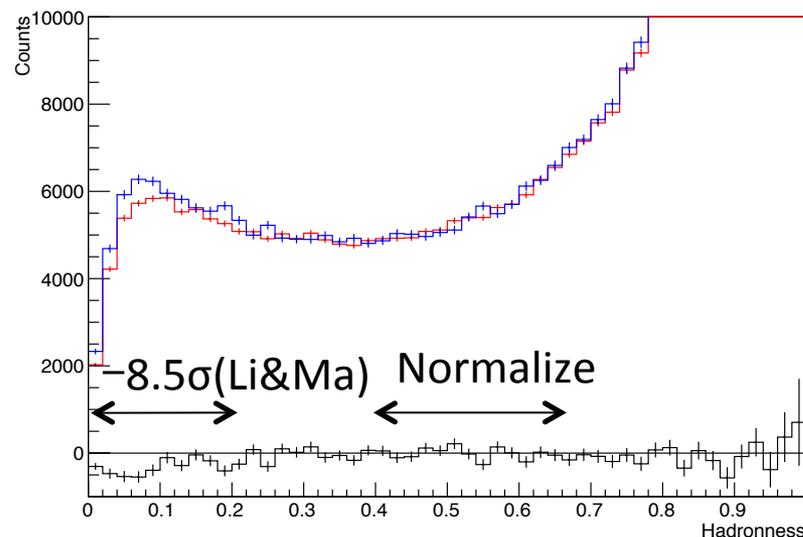
Li&Ma significance map<sup>Ra</sup>  
(circle: integration region)



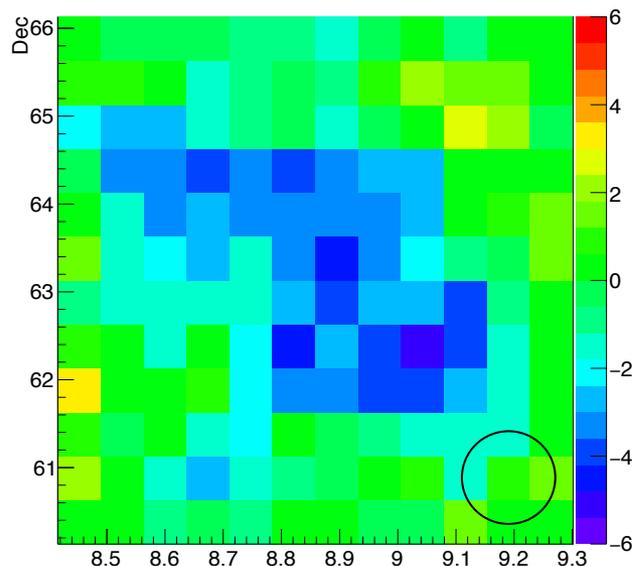
## Sample 25 結果 negative excessを確認

Event cut settings:  
size > 300 ph.  
energy > 100 GeV  
dist < 350 mm

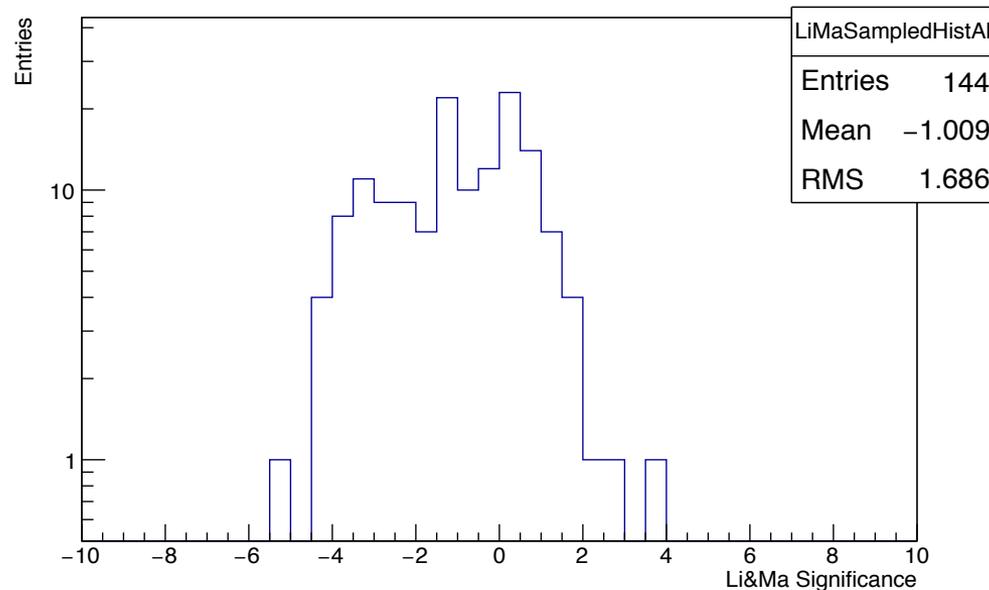
All wobble



Li&Ma Significance All

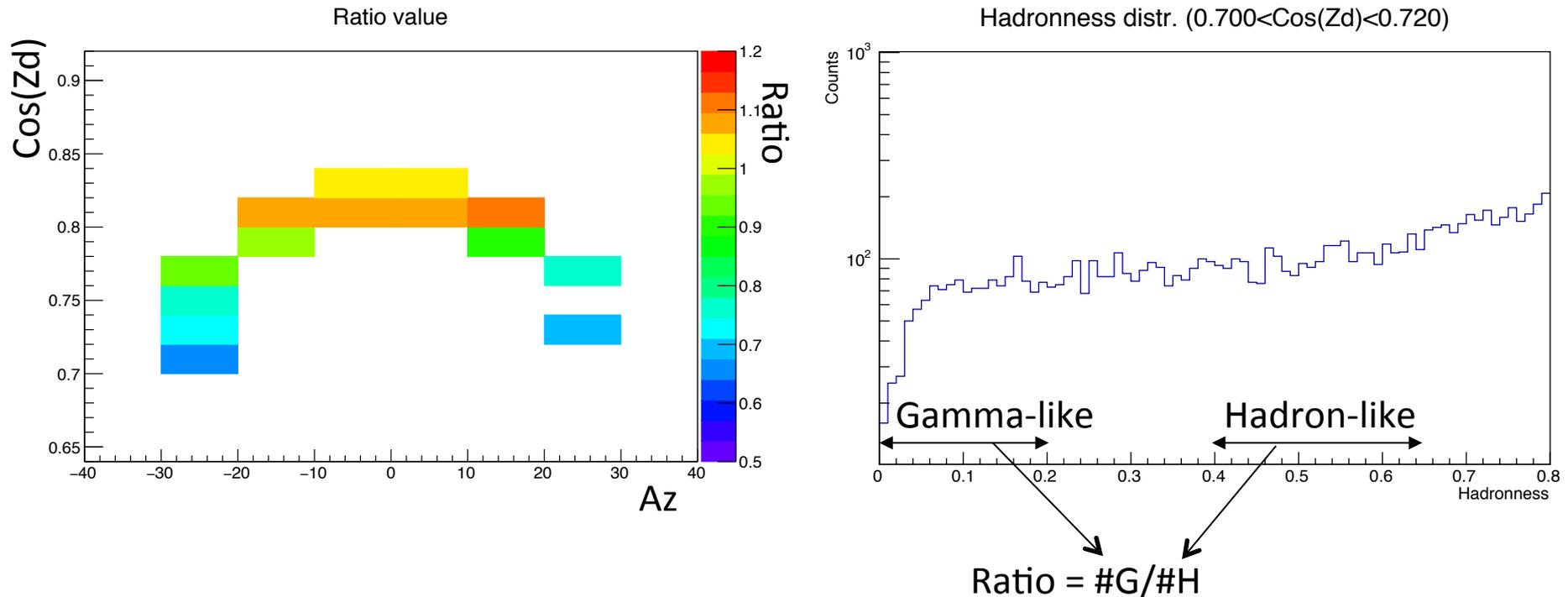


Li&Ma significance map  
(circle: integration region)



Hadronness 分布の安定性を調査：

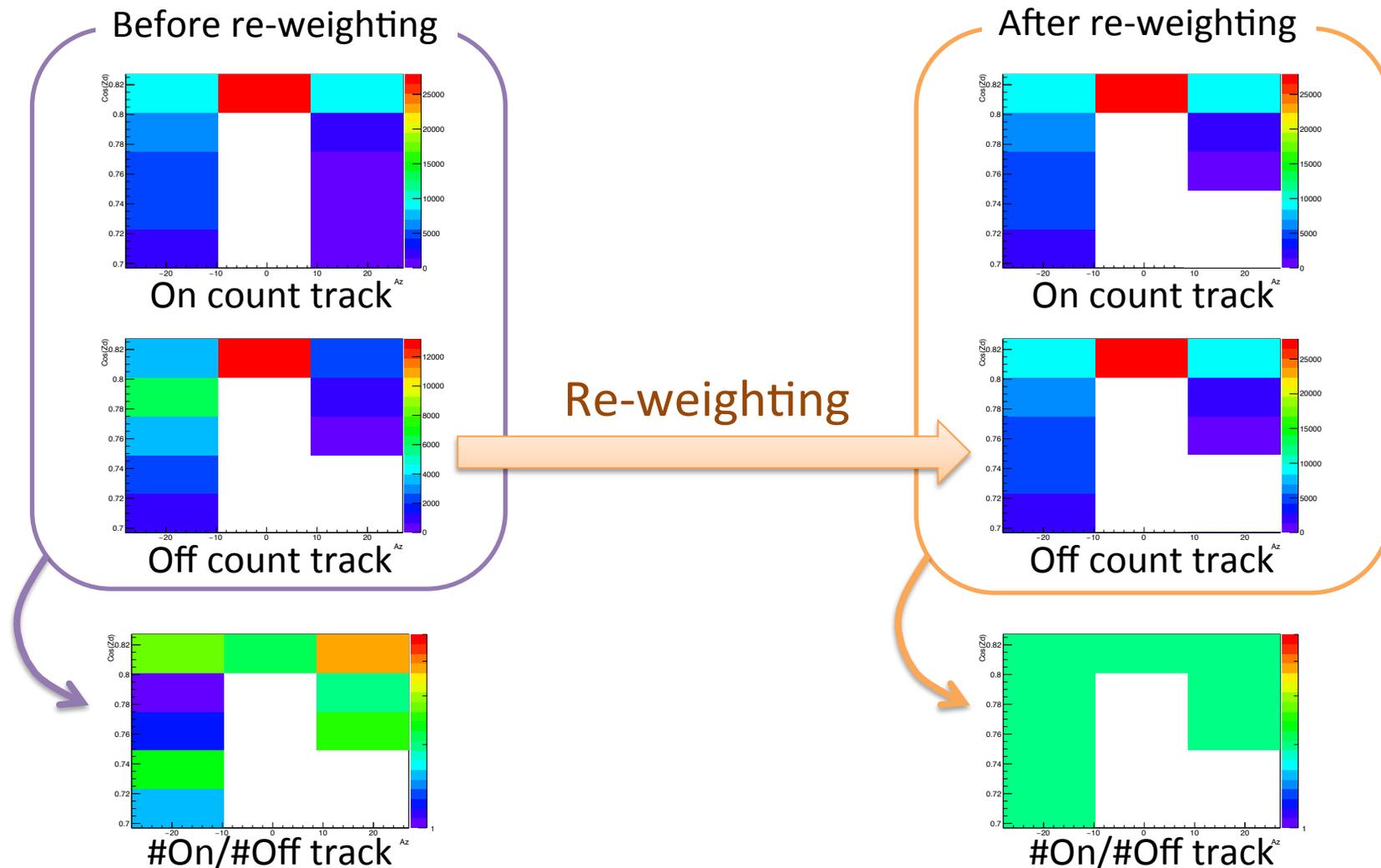
(Gamma-like イベント数)/(規格化に用いるイベント数)  
の値の zenith/azimuth についての依存性



→ 明らかな  $Z_d$  依存性

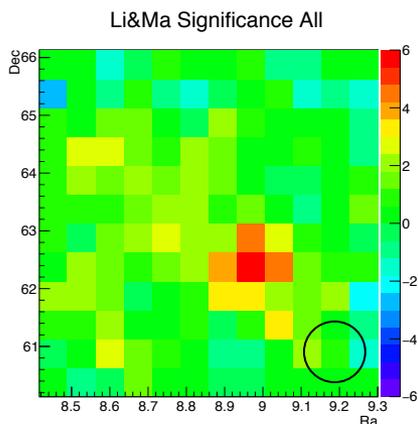
→ On/Off での分布の差異が系統誤差となる

On/Off の規格化時に各 Zd/Az bin ごとに重み付けを行う  
 → 全体のイベント数と同時に Zd/Az 分布も揃える

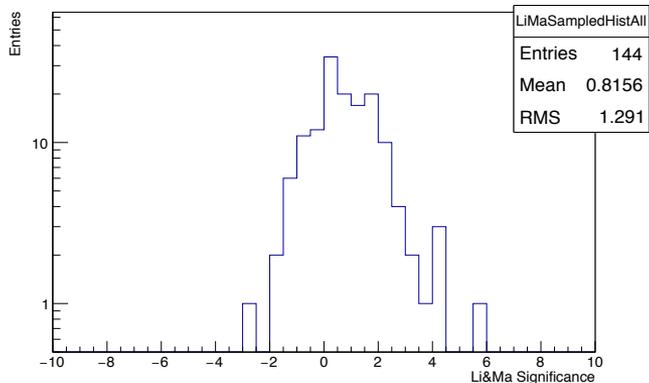


## Sample 5 結果

Before re-weighting



Li&Ma significance map

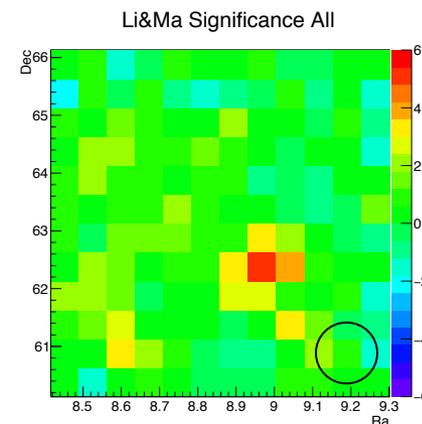


Significance distribution

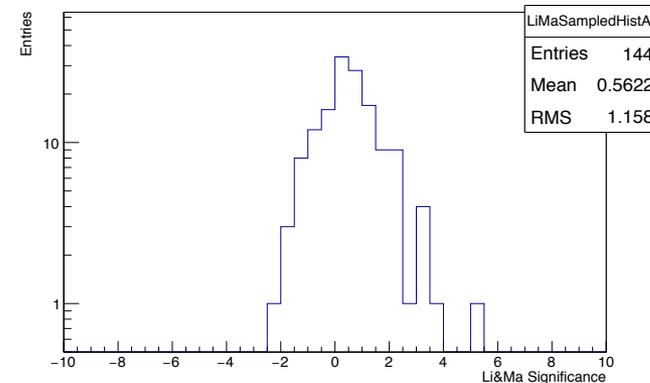
Re-weighting



After re-weighting



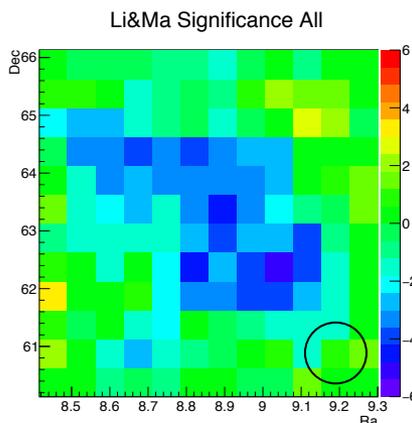
Li&Ma significance map



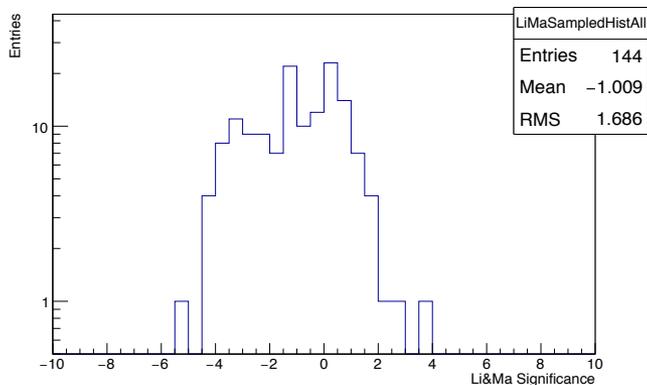
Significance distribution

## Sample 25 結果

Before re-weighting



Li&Ma significance map

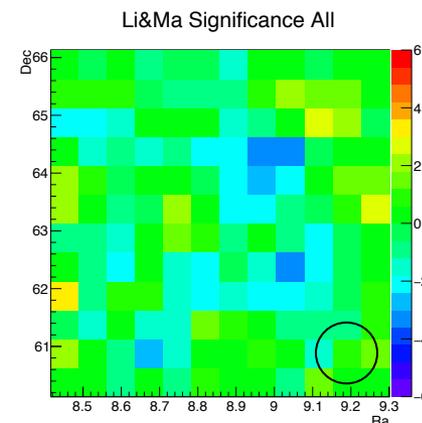


Significance distribution

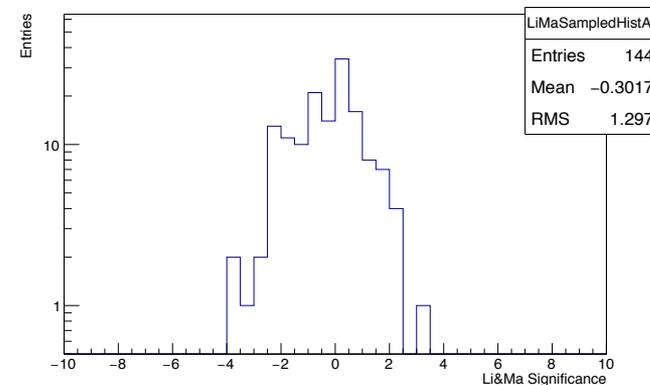
Re-weighting



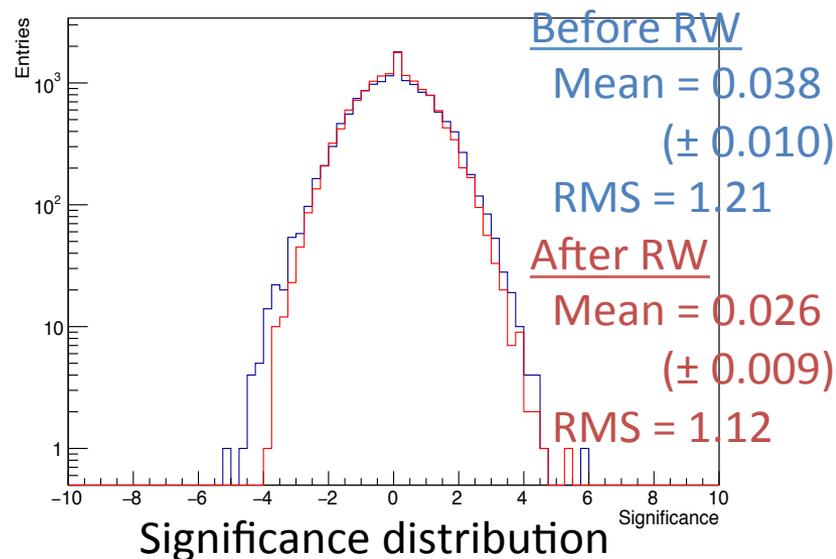
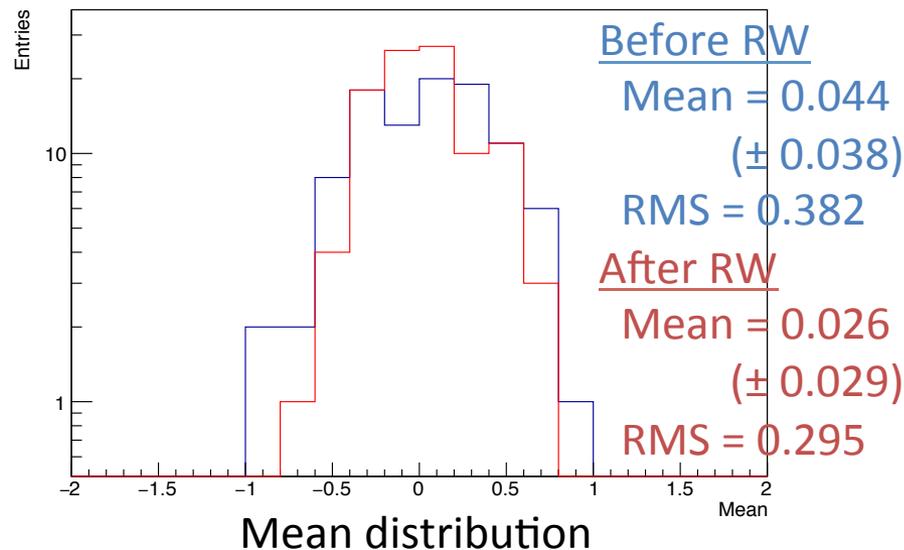
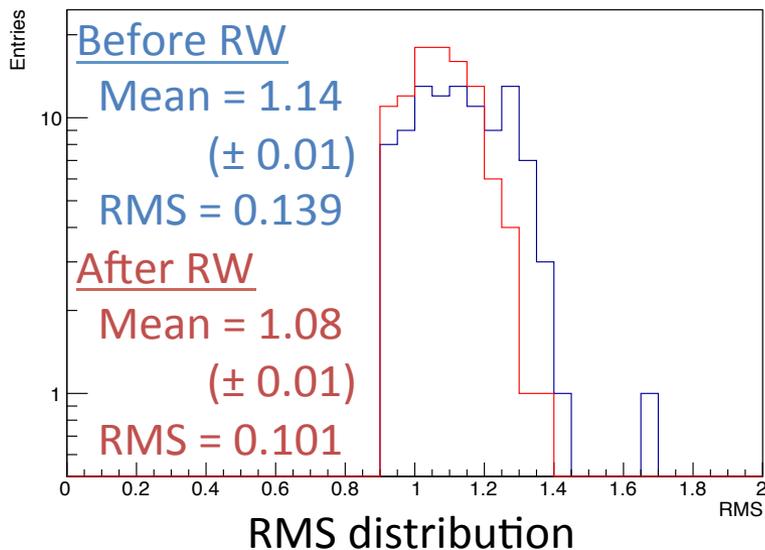
After re-weighting



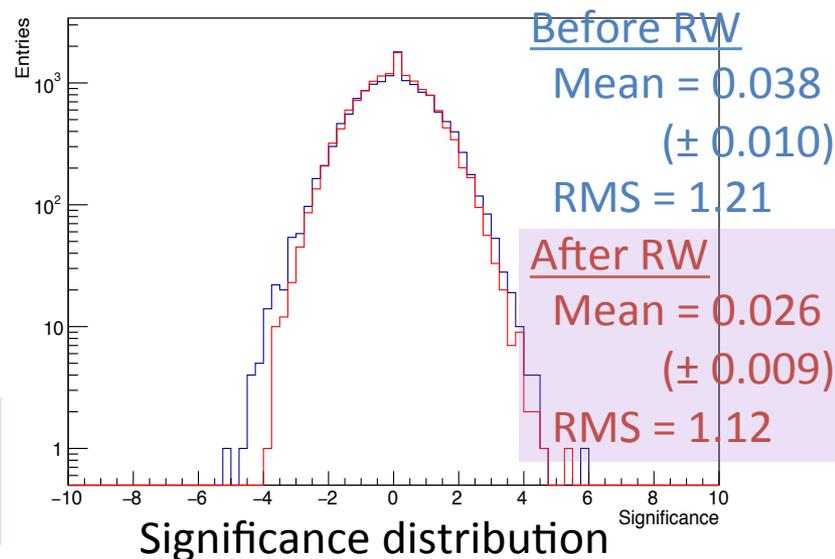
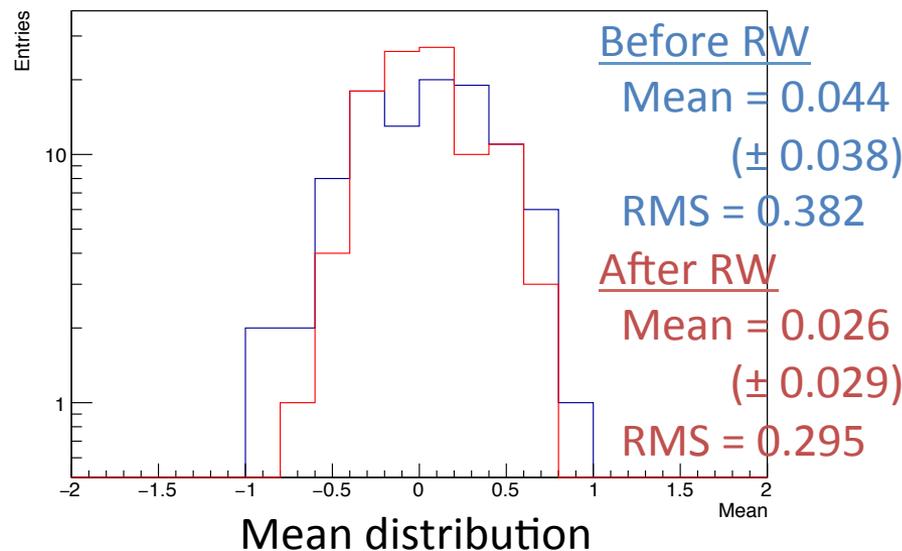
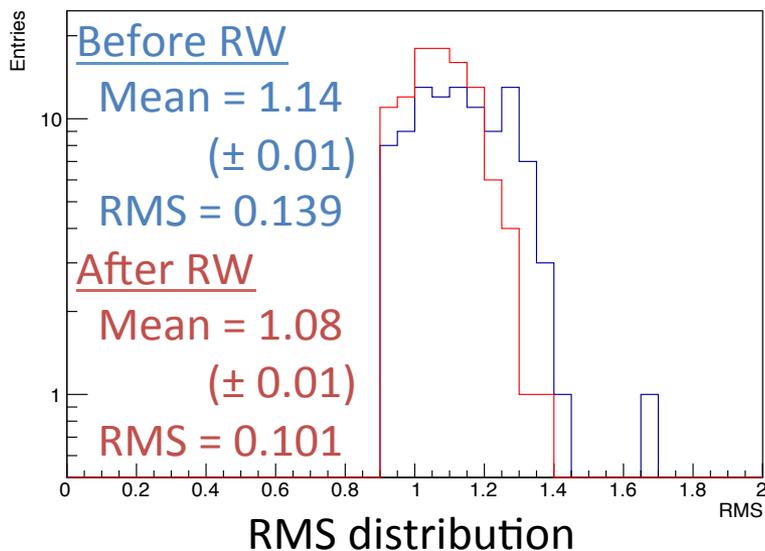
Li&Ma significance map



Significance distribution



→ Re-weighting により  
 分布の不安定性が改善された



→ Re-weighting により  
 分布の不安定性が改善された

統計による理想的な分布と一致するか？  
 Significance の算出方法を確立する

- ◆ MAGIC 望遠鏡での大きく広がった天体の解析方法を開発
- ◆ Hadronness 分布は  $Zd(Az)$  に依存することを確認
- ◆  $Zd/Az$  依存性から生じる系統誤差を減らすように改良 (Re-weighting)
- ◆ ランダムサンプルに解析を適用してチェックを行った  
→ Re-weighting で系統誤差を改善
- ◆ 今後: Significance 分布の評価方法を確立、  
ガンマ線検出の明確な評価基準を得る
- ◆ 手法の確立後、広がった超新星残骸のデータ解析を行う